

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.06.010

四川汉源九襄地区堆积体沉积特征研究

丁昊¹,涂国祥¹,赵永辉²,赵石力¹

(1.成都理工大学 环境与土木工程学院,地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,四川 成都 610059;
2.西藏自治区水利电力勘测设计研究院,西藏 拉萨 850000)

摘要:以四川汉源九襄地区堆积体为例,通过现场勘测,结合粒度分析仪、全面图解算法等途径,对其沉积特征、粒度参数进行计算与分析,并取得以下主要成果:堆积体以粗、巨颗粒为主,磨圆度介于较好和极差之间,粒径相差悬殊,密实性较好;其在粒度频率曲线上大多表现为双峰型,其主次峰分别处于不同粒组,且均以粗颗粒占优势;堆积体平均粒径分布较广,介于 $1.73\Phi\sim 5.79\Phi$ 之间;分选性较差,峰度为平坦到尖锐,偏度总体上呈现正偏;由于堆积体受到流水作用,在粒度参数上均与冰川沉积物存在差异。研究堆积体沉积特征能对其种类划分与工程地质特性有较为全面地把握,并对还原古气候变化具有重要的借鉴意义。

关键词:堆积体;沉积特征;粒度;平均粒径;偏度;峰度

中图分类号: P642.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2018)06-0050-06

Sedimentary Characteristics of Accumulation Bodies in Jiuxiang area, Hanyuan County, Sichuan

DING Hao¹, TU Guoxiang¹, ZHAO Yonghui², ZHAO Shili¹

(1. State Key Laboratory of Geological Disaster Prevention and Geological Environmental Protection, School of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Science and Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;
2. Tibet Water Conservancy and Electric Power Survey and Design Institute, Lhasa, Tibet 850000, China)

Abstract: Taking Jiuxiang deposit in Hanyuan county, Sichuan as an example, this paper calculates and analyzes its sedimentary characteristics and grain size parameters by means of on-site investigation, grain size analyzer and comprehensive graphical calculation. The main results are as follows: The deposit is mainly composed of coarse and giant particles, and its roundness is between good and poor. Particle size difference, compactness is good; Most of its particle size frequency curves are bimodal, the main and secondary peaks are in different groups of particles, and coarse particles are dominant; The average particle size distribution of the deposits is wider, ranging from 1.73 to 5.79; poor sorting, the kurtosis is flat to sharp, skewness overall; The grain size parameters of the deposits are different from those of glacial sediments because of the flow action. The study of sedimentary characteristics of accumulations can give a comprehensive grasp of their classification and engineering geological characteristics, and is of great significance for reducing paleoclimate change.

Keywords: accumulations; sedimentary characteristics; grain size; average particle size; skewness; kurtosis

第四纪以来,根据已有研究的成果^[1-2],我国共经历了五次冰期,其中末次、倒数第二、三次冰期发生在更新世。在这三次冰期时代中,发育于我国西南山岳地区的冰川,经过长时间的演化后,形成了大量的松散堆积物。这些主要集中分布于山岳沟谷地带的堆积物具有复杂的结构特征且规模巨大,体积

可达数百万立方米甚至数千万立方米。这些堆积体的存在,为我国西南地区工程基础建设埋下了许多安全隐患,例如对坝体及蓄水后边坡的稳定性造成许多不确定影响^[3-4];该区域发生强烈地震,可能对堆积体整体造成不稳定影响^[5];在降雨雨水作用下,对堆积体造成的影响,能引起滑坡,甚至泥石流等灾

收稿日期:2018-07-19

修稿日期:2018-08-29

基金项目:国家自然科学基金“降雨在山岳型冰水堆积体中的入渗过程及其稳定性影响的时间效应研究”(41472274)

作者简介:丁昊(1994—),男,四川成都人,硕士研究生,研究方向为工程地质。E-mail:133402002@qq.com

害现象^[6]。这些结构、物理力学性质复杂且特殊的堆积体由于种类与形成原因的不同,所引发的工程地质问题也有较大差异;研究堆积体的沉积特征对该地区堆积体种类的划分与工程地质特性有较为全面地把握,并对还原古气候变化具有重要的借鉴意义。

自 20 世纪中期起,国内学者便开始对这些形成于第四纪的堆积体,展开了各个方面的研究:武安斌^[7]在对走廊南山素珠链峰冰川的研究中指出冰川沉积物在粒度频率曲线上表现为多峰式,粒度分布域广,颗粒大小杂乱不均,圆球度极低。张振掄^[8]将冰川堆积物与非冰川堆积物在粒度频率累计曲线、粒度参数上进行对比,并在粒度频率曲线上将其主次峰的位置和对应含量进行区别与对照,探讨了冰川堆积物与非冰川堆积物在粒度参数、沉积特征上的不同,初步阐明了粒度的分布与沉积环境之间的关系。涂国祥等^[9-11]根据堆积体沉积特征与成因归纳出该堆积体属冰水沉积,分析出其形成演化的过程,并对其工程稳定性进行了全面地评价。

但所有这些学者对上述堆积体进行了一定程度上的探索,并取得了不错成效。但这类形成时间早、成因及结构复杂、工程性质特殊的堆积体分布极为广泛,之前学者的研究成果具有一定地域特殊性,其它地区的堆积体借鉴价值有限。本文以汉源九襄地区堆积体为例,对这地区山岳沟谷堆积体的沉积特征、粒度参数、成因进行分析和探讨。

1 研究区域地质背景

研究地区堆积体多分布于九襄东侧河谷两岸,总体积约 $4.0 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。本文选取木楠村、下堰沟、上堰沟以及大沙溪 4 条主要沟谷(见图 1)进行研究,并对其沉积特征、颗粒组成及粒度参数等方面进行分析 and 讨论。

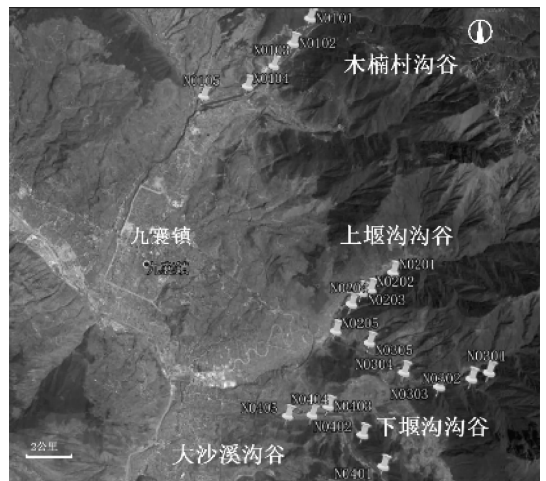


图 1 汉源九襄区域图(蓝线为采样路径,图钉为采样点)

2 九襄地区堆积体沉积特征

根据实地调查情况并结合堆积体自然断面剖面图,得到表 1。

表 1 汉源九襄地区堆积体沉积特征

堆积体名称	颗粒组成	分选及磨圆	堆积特点
木楠村堆积体	①以粒径大于 60 mm 的粗、巨颗粒为主。 ②高程较低采样点表现为块石含量相对较低,砾石含量较高,堆积体密实;而随着高程逐渐升高,块石含量逐渐增加,砾石含量降低。	高程较低块石砾石磨圆较好,为次圆状,随着高程升高,其磨圆逐渐变差。分选都为较差。	①堆积体中部剖面上有明显的分层,且不同层之间沉积特征差别较大。 ②在堆积体中部发现富集角砾碎石,说明其沉积过程中流水较为稳定且量较小,并持续了一定时间;而不同层的块石则说明是由于水流量较大且短期内大量融水将大块石快速搬运,然后再堆积在此而成(例如洪水)。 ③积体内发育有泥质夹层。
上堰沟堆积体	①堆积体以粗、巨颗粒占优势,大于 60 mm 的巨颗粒占 50% 以上;粗颗粒占 30% 以上,而细粒分布在块石缝隙之间。 ②块石是随着堆积体高程上升其含量逐渐增加。	块石随高程升高磨圆逐渐变差,堆积体分选都较差。	①在沟谷上游有较多含角砾黏土,其覆盖在堆积体上部。 ②堆积体中发育有多个类似河流二元结构层带。
下堰沟堆积体	①整个下堰沟以粗砾石居多,占 70% 以上。 ②堆积物中各种粒径砾石大小粒径混合杂乱无规律排列。但是在低高程处砾石含量略高,上游块石含量占大多数。	从高程上来看,随着高程的升高,磨圆度无明显差别,总体为棱角状到次棱角状。堆积体颗粒大小混杂,分选差。	杂乱排列,无明显分层,胶结程度差。
大沙溪堆积体	①堆积体中粗、巨颗粒含量占总量的 70% 以上。 ②从整个堆积体来看,高程由低到高,块石含量逐渐增加,磨圆度逐渐变差。	随着高程升高,块石磨圆度逐渐变差。堆积体分选较差。	堆积体中部有明显分层;在堆积体中可见层带,说明在其形成过程中,水流在此流速稳定。

结合九襄地区四个堆积体的沉积特征,可以得到下列结论:

- (1) 堆积体大多以粗、巨颗粒含量占优势。细颗粒的少量分布,通常充填于块石之间。
- (2) 堆积体中发现有明显分层,并且不同层之间粒径存在较大差异(见图 2)。



图 2 堆积体中有明显分层

(3) 堆积体的中下部大多较为密实,很少出现架空现象,是由于堆积体经过了长时间的沉积、固结;其大多为较好泥质胶结。

(4) 从高程上来看,处于低高程位置的块石含量较少,砾石含量较多,磨圆较好;而随高程升高,块石变多,砾石变少,磨圆变差。

(5) 在堆积体中,发现相对静水环境下沉积的细颗粒泥质夹层(见图 3)和稳定流水形成的层带(见图 4),因此从这个角度看,九襄地区堆积物的形成经历了较为复杂的气候演化,致使冰川受气温上升所产生的融水,其水动力条件之间差异明显。

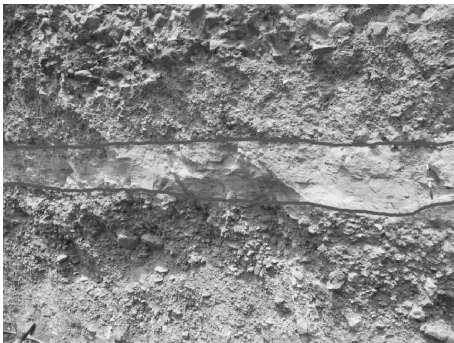


图 3 堆积体中发育有泥质夹层

以砂粒占优势。细颗粒黏土含量不超过砂、粉砂、黏土总量的 8%,最低为 0.89%,细颗粒粉砂含量占总含量的 1%~24%。而粗颗粒砂占比均超过 50%,最高可达 97.6%;砂占比超过 80%的样品点的个数占所有样品点个数的 84%。



图 4 堆积体中发育有类似河流二元结构层带

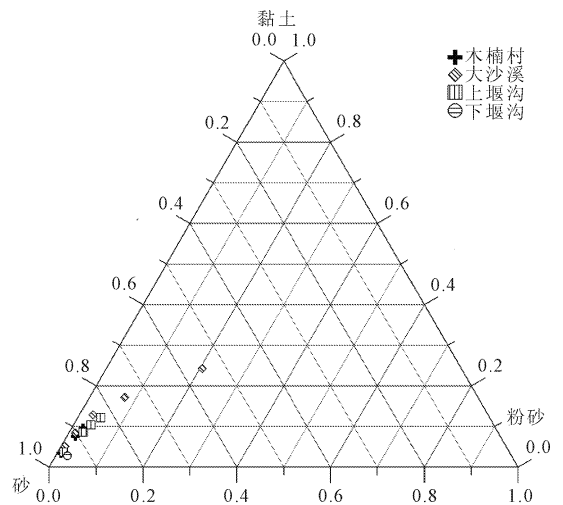


图 5 Shepard 分类图

3.2 粒度频率曲线

样品测试分析仪选用 malvern2000,对采样点 1 mm 以下颗粒进行体积百分含量分析,然后做出粒度频率曲线图 6,需要注意的是要将毫米粒径换算成 Φ 值粒径,它的换算公式为 $\Phi = -\log^2 D$ (D 为粒径单位 mm)。

根据 2007 年修订的《土的分类标准》^[16] (GB/T 50145—2007),将峰值粒径进行粒组划分,得到表 2。

由粒度频率曲线图 6 可知:

- (1) 木楠村样品点 1-3、1-5、1-6 表现为相对舒缓平滑的单峰,表明沉积物的分组简单,可能只表现为一种组分的粒度特征,或两种不同地点的组分经历了稳定持续的搬运作用而充分混合,整体呈现均一平缓的粒度特征。

3 采样点堆积体粒度分析

3.1 粒度组成

通过 Shepard 分类^[12-15],将样品点进行分类和分析,见图 5。可知:沉积物样品点主要分布在等边三角形左斜边的狭长地带,说明 2 mm 以下颗粒中

表 2 不同编号峰值粒径对应的粒组

编号	主峰粒组/ 峰值粒径 Φ /mm	次峰粒组/ 峰值粒径 Φ /mm
3-3	细砂/3.45	粗砂/1.06
X306	粉粒/5.05	中砂/1.26
X302	粗砂/-0.33	粉粒/5.24
X301	细砂/2.66	粗砂/-0.13
X300	粗砂/-	无
X4	粉粒/4.85	中砂/1.66
X401	细砂/3.65	中砂/1.06
X402	细砂/3.65	中砂/1.26
X404	粗砂/-0.53	细砂/3.05
1-3	中砂/1.46	无
1-5	中砂/1.66	无
1-6	细沙/2.06	无
5	中砂/1.46	粉粒/6.04

(2) 大沙溪样品点中 X300 为单峰;3-3、X306、X302 及 X301 均为双峰,并且主次峰峰值粒径相差较大,表明此处沉积物有一部分是经过搬运作用沉积在此,并在之后受到了较差的分选,使得与原有此处沉积物混合有限,保留了自身沉积特点。

结合数据点的个数与峰的形态分析:在粒度区

间 $-1.00\Phi \sim 0.66\Phi$ 内 X302 主峰数据点的个数只占总数据点个数的 16%,而峰态平坦较宽的次峰数据点的个数占总个数的 77%;所以可能是主峰粗粒组受到搬运作用,沉积在该处粒径分布较为均匀的原有粒组旁,且在这过程中受到了较差分选作用,使两粒组混合有限,缺失中部粒径,为不连续沉积;主峰峰态表现为陡而窄。

(3) 上堰沟的四个样品均为双峰型,并且主次峰峰值粒径相差较大。

需要指出的是,X404 上堰沟主次峰在峰值和数据点的分布上差距较明显,在粒度区间 $-1\Phi \sim 0.27\Phi$ 主峰数据点个数占总个数的 12.5%,而峰态平坦较宽的次峰数据点个数占总个数的 77.5%,所以可能是主峰粗粒组受到搬运作用,沉积在该处粒径分布较为均匀的原有粒组旁,且在这过程中受到了较差分选作用,使两粒组混合有限,主峰峰态表现为陡而窄。

(4) 下堰沟粒度频率曲线在粒径较大区域内呈波状起伏分布,其峰态整体较宽,说明其受到非常强烈复杂的外部搬运作用,使两个地方的沉积物失去各自粒度特点,互相混杂。

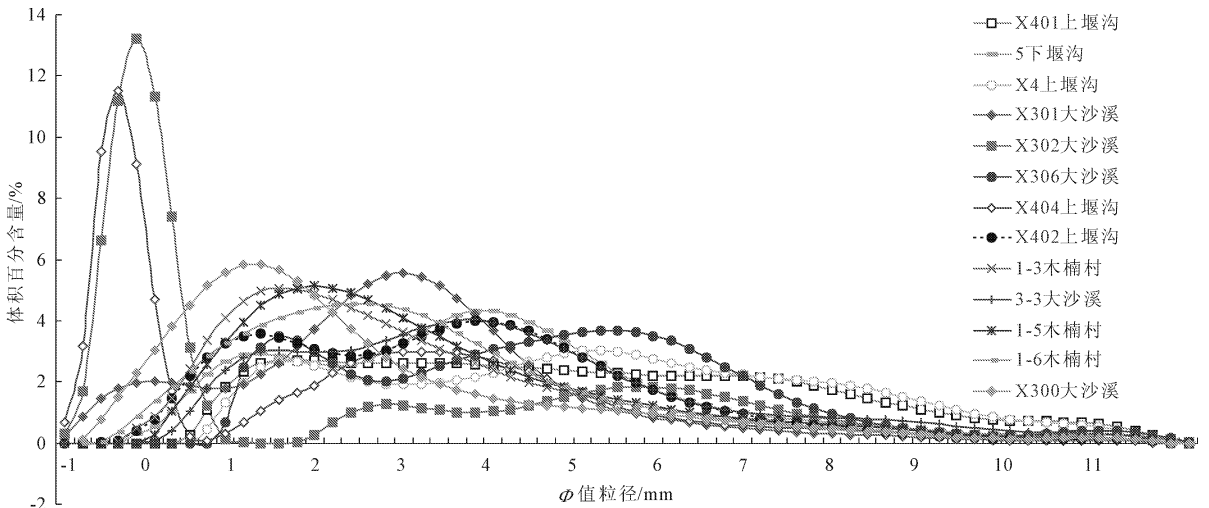


图 6 粒度频率曲线图(小圆点为分析仪所记录的数据点)

3.3 平均粒径 M :

平均粒径(M)表示了沉积物粒度的平均及中心趋势的分布状况。本文采用由 Folk 等^[17]提出的全面图解算法。各粒度参数如表 3 所示。

3.4 分选系数 δ :

所有样品点中,为分选差(δ 介于 1~2 之间)的只有一个样品,其余均为分选较差(δ 介于 2~4 之间)。说明该地区堆积体总体分选较差。

3.5 峰度 K (峰态)分析

根据 Folk & Ward 的峰度分级原则,以不同沟作为分界条件:木楠村样品点峰态为尖锐、中等尖锐;大沙溪样品点主要以尖锐、中等尖锐占优势,平坦只占 20%;上堰沟样品点平坦为 50%,尖锐与中等尖锐为 50%;下堰沟样品点峰态为平坦。

3.6 偏态 S 分析

根据全面图解法:九襄汉源地区堆积体总体偏

度位于 $-0.0067 \sim 0.800$;除 X306 以外,其余点偏度全部大于 0,呈正偏分布。 S 大于零意味着沉积物主要为粗颗粒,搬运作用较强。

表 3 汉源九襄地区沉积物粒度参数统计表

编号	M	δ	K	S
X300	2.06	2.13	1.18	0.4600
X301	5.79	1.86	1.29	0.0300
X302	1.73	2.90	0.68	0.8000
X306	4.04	2.24	1.02	-0.0067
3-3	3.52	2.30	1.11	0.2000
1-3	2.69	2.16	1.09	0.3900
1-5	2.79	2.05	1.11	0.3700
1-6	2.65	2.01	1.14	0.2600
4	4.68	2.71	0.86	0.0300
X401	3.33	2.21	1.12	0.1100
X402	3.04	2.05	0.94	0.0800
X404	1.86	2.45	0.77	0.1400
5	4.44	2.73	0.84	0.1400

综合偏态(S)、峰态(K)、和分选系数(δ)分析:几乎全部样品点分选较差;峰态主要介于平坦~尖锐,且不同位置堆积体表现出的峰态有所不同。偏度都大于零,表示流水搬力强,其粒径较小的颗粒在该地分布较少。

4 讨论

为了比较九襄地区堆积体与其它不同类型的具有代表性的沉积物在粒度参数上的差异,作者选取河流^[18]、黄土^[19]、冰川^[20]、海洋^[21]、湖泊^[22]、冰水这 6 组不同类型沉积物。其中冰水沉积物样品为作者实地采样勘测所得数据,但受制于客观条件,其余类型的沉积物只能借助其他学者的相关研究成果和数据。由于不同类型沉积环境所取样品粒度的分布存在差异,因此分析其粒度特征在一定程度上能够区分和分析沉积类型、沉积作用、并且能够复原古环境。

4.1 粒度和分选的差异

这几种沉积物中,在平均粒径、分选系数、峰度和偏度上有显著不同。

图 7 展示了不同沉积环境下 M 与 δ 的离散情况。

从图 7 得知,在粒级的成分上,黄土和河流沉积物的平均粒径分布较均匀和集中。而海洋、冰川、以及湖泊和冰水沉积物的平均粒径在各个粒度都有分布;从图中可以得知冰水沉积物与冰川沉积物平均

粒径分布广;但是冰川沉积物分选系数相差很大,且分选系数与平均粒径大小总体上呈正相关,而汉源九襄地区沉积物分选系数则在一个区间内起伏,总体相差不大。冰碛物分选极差占 62.5%。冰水堆积物分选较差占 92%,分选性略好于黄土与湖泊沉积物,海洋沉积物分选性较好,而河流沉积物分选性最好。

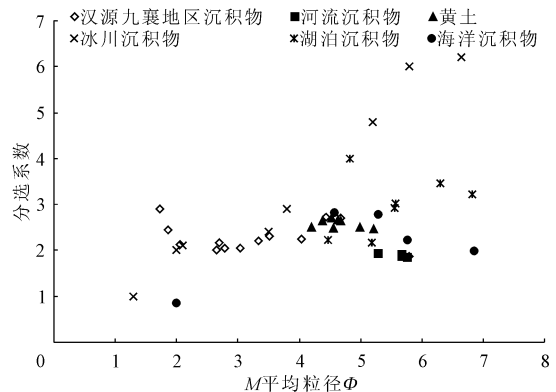


图 7 不同类型沉积物平均粒径与分选系数的离散图

各个沉积环境沉积物的粒度参数的平均值见表 4。

表 4 不同类别沉积物粒度参数的平均值

沉积物类型	M	δ	S	K
黄土	4.65	2.58	-0.320	0.87
湖泊沉积物	5.53	3.00	0.400	1.67
河流沉积物	5.52	1.90	0.310	1.08
汉源九襄沉积物	3.28	2.29	0.230	1.01
冰川沉积物	3.78	3.38	2.000	4.37
海洋沉积物	4.90	2.13	0.002	0.97

4.2 偏度 S 和峰度 K 分析

选取目标样品点的粒度参数:河流沉积物 S 介于 $0.260 \sim 0.380$;海洋沉积物 S 介于 $-0.210 \sim 0.220$;黄土沉积物 S 介于 $-0.490 \sim -0.190$;湖泊沉积物 S 介于 $-0.034 \sim 0.570$;冰碛物 S 介于 $1.000 \sim 2.950$;而汉源九襄地区沉积物 S 介于 $-0.0067 \sim 0.8000$ 。从以上数据可以得知黄土沉积物 S 均为负,说明粒度主要为细粒。其中冰碛物 S 范围最广,且拥有最大 S 值。而冰水沉积物 S 和河流沉积物 S 总体起伏不大,且 S 值相近(见图 8)。

将六个沉积物的峰度 K 的平均值从大到小排列:冰碛物(4.37)、湖泊(1.67)、河流沉积物(1.08)、汉源九襄地区沉积物(1.01)、海洋沉积物(0.97)、黄土(0.87)。根据 Folk & Ward(1957)对 K 的分级规定,黄土峰态相对平坦,然后为海洋沉积物,再是汉

源九襄地区沉积物和湖泊沉积物,冰碛物峰度值最高,峰态最尖锐。需要指出的是:汉源九襄沉积物峰态较冰川沉积物平坦, K 值相差较大,可能是由于冰川融水搬运作用扰动了原位沉积物的粒度特征,使其峰态降低(见图9)。

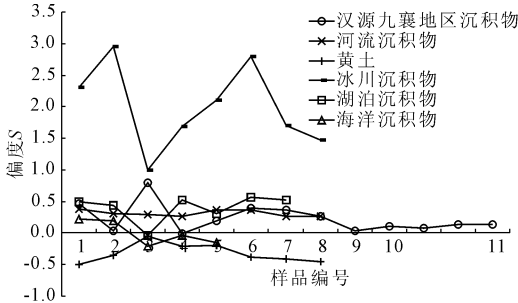


图8 各个类型沉积物样品编号与偏度的离散图

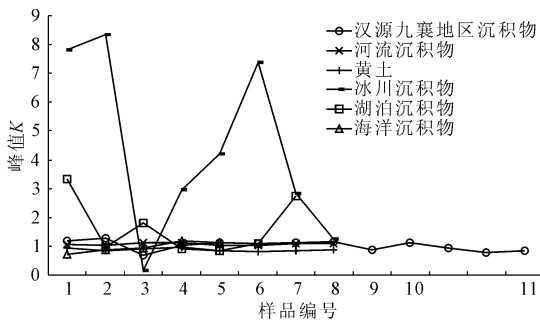


图9 各个类型沉积物样品编号与峰度的离散图

5 结 论

通过实验与分析,得到以下结论:

(1) 该地堆积体主要由粗、巨颗粒占优势,其占比约95%,细粒占比不到5%,堆积体密度高。根据Shepard三角沉积分类,其样品点2 mm以下颗粒以粗颗粒砂占优势。

(2) 粒度频率曲线多为马鞍状双峰形,说明新组经历搬运作用然后沉积到该点,后期经历有限的分选作用,与原有组分混合不充分,新旧组分别在一定程度上保留了各自的粒度特征。

(3) 汉源九襄地区沉积物为典型冰川沉积,但较冰川沉积物,汉源九襄地区沉积物由于受到了冰川融水的影响,使其分选较好,峰态较平坦。在粒度参数上与典型河流、湖泊沉积物相似。

参考文献:

[1] 易朝露,崔之久,熊黑钢.中国第四纪冰期数值年表初步划分[J].第四纪研究,2005,25(5):79-89.
[2] 施雅风.中国第四纪冰期划分改进建议[J].冰川冻土,2002,24(6):687-692.

[3] 陈 强,聂德新,李树武.澜沧江乌弄龙电站坝前崩塌堆积体发育特征及稳定性评价[J].山地学报,2006,24(1):97-102.
[4] 孙 超.大型堆积体边坡极限平衡稳定性分析[J].水利与建筑工程学报,2014,12(1):147-150.
[5] 周晓靖,王 进,张振平,等.云南地区地震动特征与堆积体滑坡动力响应分析[J].水利与建筑工程学报,2018,16(3):108-112.
[6] 亓 星.滑坡碎屑堆积体形成泥石流的实验[J].吉林大学学报(地球科学版),2014,44(6):1950-1959.
[7] 武安斌.冰碛物的粒度参数特征及其与沉积环境的关系[J].冰川冻土,1983,5(2):47-53.
[8] 张振拴.天山博格达峰地区的粒度特征[J].冰川冻土,1983,5(3):191-200.
[9] 涂国祥.西南河谷典型古冰水堆积体工程特性及稳定性研究[D].成都:成都理工大学,2010.
[10] 涂国祥,黄润秋,邓 辉.澜沧江某冰水堆积体演化过程及工程地质问题探讨[J].山地学报,2009,27(1):54-62.
[11] 涂国祥,黄润秋,邓 辉.典型冰水堆积体浪蚀作用下变形破坏机制研究[J].工程地质学报,2006,16(5):598-604.
[12] Shepherd F P. nomenclature based on sand-silt-clay ratios [J]. Journal of Sedimentary Geology, 1954, 24(3): 151-158.
[13] Robinson G W. Soilster their Origin Constitution and Classification[M]. 3 rd ed. London: Murby, 1949,573.
[14] Robinson G W. Soils[M]. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1949:22.
[15] Trefethen J M. Classification of sediments[J]. American Journal of Science, 1950,248(1):55-62.
[16] 土的分类标准:GB/T 50145—2007[S].北京:中国计划出版社,2007.
[17] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar:a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957,27(1):3-26.
[18] 朱向锋,黄春长,查小春,等.泾河流域现代洪水泥痕沉积学特征研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(8):9-13.
[19] 张 威,李云艳,李 丽.大连市七顶山黄土剖面粒度特征及其环境意义[D].大连:辽宁师范大学,2009.
[20] 李洋洋.甘肃马衔山冰川堆积物的沉积学特征[D].大连:辽宁师范大学,2014.
[21] 林炳煌.泉州湾沉积物粒度和元素组成特征及其沉积环境意义[D].厦门:厦门大学,2009.
[22] 李志忠,海 鹰,罗若愚,等.乌鲁木齐河下游地区湖泊沉积物的粒度特征与沉积环境[J].干旱区研究,2000,17(3):1-5.